



BOTÁNICA

Patagonia: cuna de las margaritas

Liliana Katinas

Jorge V. Crisci

Las margaritas, cardos, dalias y mutisias son miembros de las Compuestas, es decir, las *Compositae* o *Asteraceae*, la familia más numerosa y ampliamente distribuida entre las plantas con flores. Dónde y cuándo se originó esta familia son preguntas que los científicos se hacen desde hace siglos. Se revelan aquí hallazgos en la Patagonia de la Argentina que podrían ayudar a resolver este misterio.

Si pudiésemos viajar al pasado, 50 millones de años atrás, al oeste de la Patagonia quedaríamos totalmente sorprendidos. En lugar de los imponentes coihues, lengas, ñires (*nothofagus*) y araucarias de los bosques subantárticos nos encontraríamos con una selva de exuberante vegetación subtropical. Encontraríamos una gran diversidad representada por los miembros de las familias de la casuarina, de los nogales, del palo borracho, de los tilos, de los pastos y de las palmeras. Y en algún claro de esa selva veríamos asomar tímidamente la colorida cabezuela de una planta que está en sus primeros intentos de supervivencia. Seríamos testigos de los inicios de una familia vegetal que se transformaría en el futuro en la más exitosa de todo el planeta en términos evolutivos: la familia de las Compuestas.

Una familia prolífica y conquistadora

El girasol, la margarita, el cardo, la lechuga, las bellas mutisias de los bosques patagónicos, como la que se ve en la figura 1, las dalias y crisantemos, pertenecen a la familia de las Compuestas o Asteráceas, la familia más numerosa del reino vegetal. Con cerca de 1.600 géneros y más de 23.000 especies, estas plantas se hallan en todos los continentes excepto en la Antártida. El gran número de especies hizo que los científicos dividieran la familia en categorías menores, como tribus y subfamilias, para su estudio.

Las Compuestas reciben este nombre por sus flores reunidas en un conjunto de flores, es decir, en una inflorescencia única llamada capítulo, que asemeja una sola flor, lo cual es exac-



to desde un punto de vista funcionalmente biológico, pero que en realidad se compone de numerosas flores. Los “pétalos” de una margarita son en realidad flores con corolas desarrolladas que se hallan en el margen del capítulo, y el botón central amarillo está formado por numerosas flores con la corola más reducida. Los distintos agentes polinizadores como abejas, escarabajos, avispas, colibríes y hasta pequeños mamíferos, se acercan a estas vistosas agrupaciones de flores para obtener el néctar o el polen, y así en cada visita polinizan un gran número de flores en lugar de una única flor. Esta morfología aparentemente simple es la principal responsable del gran éxito evolutivo de la familia. Otra característica interesante de este grupo es su forma de dispersar los frutos. La mayoría de sus miembros tienen los frutos coronados por unos pelos dispuestos a modo de paracaídas, el pappus, y son así llevados

1 - *Mutisia retrorsa*, una flor característica del bosque andino-patagónico. Foto: M. Bonifacino

por el viento y alejados de la planta madre. Los llamados “panaderos” de plantas como el diente de león (*Taraxacum officinale*), no son otra cosa que los frutos envolviendo una única semilla transportados por el pappus.

Dónde y cuándo se originaron las Compuestas son las preguntas que los botánicos se hacen desde hace siglos. Partiendo de la hipótesis de que una de las tribus actuales tiene que ser más primitiva que las demás, y por ello, podría encontrarse más próxima a su antecesor, los botánicos fueron postulando a distintas tribus de Compuestas como las más cercanas al antecesor, sin llegar a un consenso. Estas preguntas fueron encontrando su respuesta con el desarrollo y la aplicación de los métodos denominados cladísticos. La idea de que la vida tiene una

historia (filogenia) y que esa historia puede representarse como un árbol (cladograma) cuyos puntos de ramificación se forman de acuerdo con las novedades evolutivas que se presentan a lo largo de la historia de los seres vivos, cambió las hipótesis existentes hasta ese momento sobre la posible tribu ancestral de las Compuestas. Científicos de la Universidad de Michigan descubrieron en 1988 una modificación en un importante segmento del ADN de los cloroplastos de las Compuestas. Esta porción de ADN se hallaba en posición invertida en la mayoría de los miembros de la familia excepto en un pequeño grupo de géneros hasta entonces perteneciente a la tribu *Mutisieae*, concentrada en América del Sur. Este descubrimiento, dentro de un contexto filogenético, llevó a la nueva tribu *Barnadesieae* y a la tribu *Mutisieae* a la posición más basal en el árbol de la familia, seguidas de *Cardueae* la tribu de los cardos (véase la figura 2). La pregunta: ¿Dónde se originaron las Compuestas? podía ya tener respuestas con un mayor grado de certeza. El hecho de que las ramas más basales del árbol de la familia fueran esencialmente sudamericanas, llevó a la hipótesis de que América del Sur podría ser el lugar de origen de la familia.

En cuanto a la pregunta: ¿Cuándo fueron sus orígenes? Su posible antigüedad también fue sujeta a diversas hipótesis. Si se considera a las Compuestas como una familia moderna y evolucionada de las Angiospermas (plantas con flores), su origen debería ser relativamente reciente. Las edades sugeridas por los científicos sobre la base de evidencias geológicas o de polen fósil iban desde los 100 millones de años (Ma) a los 38 Ma, aunque las edades postuladas más recientemente no van más allá de los 50 Ma. En los últimos tiempos, la teoría del “reloj molecular” se integró a la filogenia de la familia para datar su posible origen. Según esta teoría, los errores espontáneos en el ADN o mutaciones se suceden a cierto ritmo (constante o no), como el tic tac de un reloj, durante la evolución de las especies. De esta forma existe una relación directa entre el tiempo y la cantidad de los cambios. Los puntos de ramificación o divergencia en los cladogramas pueden datarse con un fósil conocido

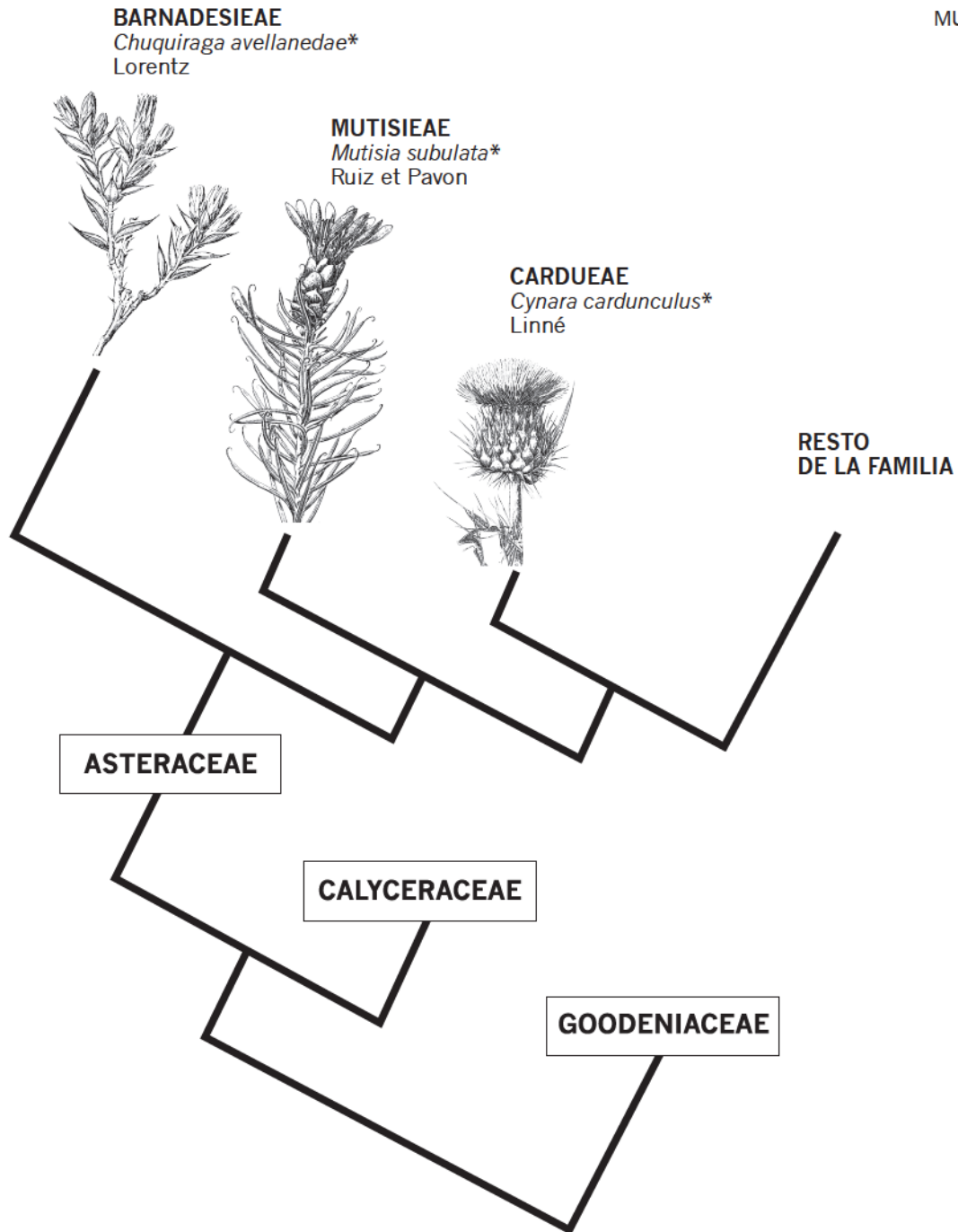
del grupo en estudio, es decir “calibrarse” y luego esta calibración se aplica a las demás especies del cladograma para estimar el tiempo probable de su divergencia. Uno de los problemas del reloj molecular es el uso de fósiles apropiados para la calibración de los cladogramas. En el caso de las Compuestas, hasta el momento se usaban fósiles de grupos vegetales poco relacionados con esta familia, lo que hacía dudar de la precisión del reloj. De acuerdo a los últimos resultados aplicando este método, la familia se habría originado en el Eoceno tardío, hace aproximadamente 38-42 Ma.

En busca del pasado

Los fósiles de Compuestas hallados en el mundo constaban hasta hace muy poco tiempo exclusivamente de granos de polen (microfósiles). En casi todos los continentes se encontró polen fósil, pero las búsquedas en la Patagonia argentina resultaron en numerosos hallazgos de granos de los grupos basales (*Barnadesieae* y *Mutisieae*), provenientes del Oligoceno tardío (28-23 Ma) y del Mioceno (23-9 Ma).

Por otro lado, el hallazgo de fósiles de órganos vegetales en las Compuestas, como hojas, flores, frutos o capítulos (macrofósiles) era prácticamente inexistente. Algunos supuestos capítulos fósiles, como el caso de *Paleanthus problematicus* del Cretácico y de *Viguiera cronquistii* del Oligoceno-Mioceno de América del Norte fueron finalmente adjudicados a otros grupos vegetales, incluso a las coníferas (grupo al que pertenecen, por ejemplo, los pinos). Considerando el tamaño y la importancia de la familia, el hallazgo de macrofósiles, esencialmente de capítulos, era de vital importancia para comprender el origen y evolución temprana de la familia. Preguntas como: ¿Cuándo se originó el capítulo? ¿Cómo eran los primeros capítulos? ¿Cuánto tiempo llevó generar esta estructura tan eficiente? aún no tenían respuesta.

Recientemente, los hechos parecen dar un giro interesante para resolver el misterio de las Compuestas. El estudio de un fósil depositado en el Museo del lago Gutiérrez “Dr. Rosendo Pascual” resultó ser el primer macrofósil inequívoco de Compuestas hallado



en el mundo, constituido por una rama con dos capítulos (véase la figura 3). El hallazgo se produjo en la provincia de Río Negro, muy cerca de Bariloche, donde se halla lo que se conoce como “flora del Río Pichileufú”, perteneciente al Eoceno Medio (47,5 Ma). Esta es una de las floras fósiles más ricas en biodiversidad de América del Sur que se habría desarrollado bajo un clima cálido y húmedo y estaba compuesta por miembros de diversas familias, algunas de las cuales hoy persisten sólo en Australasia.

Éste no era sólo el primer microfósil de

2. Árbol filogenético o cladograma que muestra los grupos basales, *Barnadesieae*, *Mutisieae* y *Cardueae*, de las Compuestas (*Compositae* o *Asteraceae*) y a las dos familias filogenéticamente más cercanas *Calyceraceae* y *Goodeniaceae*.
* Tomadas de A. L. Cabrera, *Flora Patagónica* (edición de M.N. Correa), Buenos Aires, Colección científica del INTA, 1971.

la familia, sino que también era el fósil más antiguo encontrado hasta el momento, más antiguo que la edad sugerida por el reloj molecular, y que aportó aún más evidencia sobre un posible origen sudamericano de



las Compuestas. Si bien existen reportes de polen fósil del Eoceno de Sudáfrica, estos hallazgos aún requieren confirmación de la antigüedad de los estratos portadores. Si bien no era posible observar detalles internos que son importantes para comprender cómo eran estas primeras Compuestas, la morfología externa del fósil podía aportar datos valiosos. En general coincidía con las características postuladas por distintos autores desde hace décadas para el potencial antecesor de las Compuestas: ramas con pocos capítulos, cada capítulo con numerosas flores, rodeadas de varias series de hojas modificadas (filarias) dispuestas helicoidalmente. Estos caracteres existen hoy en miembros de varias tribus y son muy comunes en los grupos basales. Otra característica interesante es el desarrollo de sus corolas, las que tienen una apariencia alargada en el fósil, y podrían sugerir una posible adaptación a la polinización por

3 - *Raiguenrayun cura*, fósil de Compuestas hallado recientemente en la provincia de Río Negro, Argentina, datado en 47,5 Ma. Se observa una rama con dos capítulos. Escala = 1 cm.

colibríes (llamada ornitofilia). Dado que se trata de un tipo común de polinización en los actuales grupos basales de Compuestas, y que la flora fósil de Río Pichileufú se componía de familias cuyos miembros actuales también comparten este tipo de polinización (por ejemplo, la del palo borracho, la del notro), la ornitofilia en los linajes basales de la familia es una hipótesis que debería tenerse en cuenta. Y más sugestivo es interpretar qué papel jugó el polinizador en la evolución del capítulo. Quizás algo muy interesante del hallazgo es que el capítulo, una estructura compleja, ya estaba formado, lo que lleva a pensar que el origen de la familia tuvo que ocurrir aún antes del Eoceno medio.

A pesar de toda la información que el macrofósil podía brindar, las característi-

cas del capítulo no permitían relacionarlo con algún grupo particular de la familia. Afortunadamente, mediante una cuidadosa búsqueda se hallaron unos escasos granos de polen en la roca asociada al fósil. Estos cuerpos milimétricos podían aportar información fundamental.

Donde el polen cuenta la historia

Los granos de polen son los portadores de las gametas masculinas en las plantas superiores. Son transportados por distintos agentes polinizadores como insectos, aves, pequeños mamíferos e incluso el agua o el viento hasta la gameta femenina para que se produzca la fecundación y se genere así un nuevo individuo. Debido a los riesgos que conlleva este transporte, como deshidratación o el ataque de insectos, las paredes externas de los granos son extremadamente duras. La sustancia que constituye estas paredes, llamada esporopolenina, es una de las más resistentes de la naturaleza. Esta característica hace que el polen también soporte el paso del tiempo y la acción de los eventos geológicos, manteniendo casi intactas sus estructuras.

Por otra parte, la estructura interna del grano de polen, del mismo modo que una huella dactilar, es constante y característica para la mayoría de los distintos grupos vegetales y, en el caso de las Compuestas, permite asociarlo a una tribu o subfamilia específica. Fue así que el análisis microscópico de la estructura interna del polen fósil permitió asociarlo a *Mutisiapolis telleriae*, un grano fósil de tipo espinoso. Polen de esta especie había sido hallado previamente en el este de la Patagonia, en estratos más recientes. Sus características representan un mosaico de los caracteres que se encuentran actualmente en el polen de los grupos basales del árbol filogenético de la familia. Estos grupos se correspondían con algunas *Mutisieae* y con géneros de la tribu de los cardos pero que anteriormente habían sido considerados parte de *Mutisieae*. Fue así que el polen permitió ligar al macrofósil con un grupo actual de Compuestas, el cual, de acuerdo a las hipótesis filogenéticas se correspondía con ramas basales del árbol

evolutivo de la familia que estarían más cercanas al antecesor. La evidencia fósil corroboraba así las hipótesis filogenéticas que habían sido obtenidas con datos moleculares.

Las preguntas: ¿Dónde se originaron las Compuestas? y ¿Cuándo fueron sus orígenes? que desvelaban a los científicos desde hacía años, podían comenzar a contestarse con evidencia contundente.

A la conquista del mundo

¿Cómo llegaron las Compuestas a ocupar casi todas las áreas del mundo desde su posible origen sudamericano? ¿Fue el sur de América del Sur el lugar de origen de la familia, o sólo una parte de un área original mayor?

Para comenzar a reconstruir la posible historia de las Compuestas, es necesario también analizar dónde se hallan las familias más relacionadas. Es oportuno volver a la figura 2: la familia más cercana, o hermana, a las Compuestas es *Calyceraceae* (con 4 géneros, 60 especies) y es endémica de América del Sur. Se compone de hierbas con estructuras parecidas a los capítulos, pero de características distintas a los de las Compuestas. La otra familia relacionada a estas dos es *Goodeniaceae* (con 11 géneros, 440 especies), formada por hierbas o arbustos de vistosas flores, casi enteramente distribuidas en el hemisferio sur y concentradas en Australia. Se postula que en el Cretácico (144-65 Ma) un ancestro común de las tres familias ocupaba Australia, la Antártida y América del Sur, que eran parte del supercontinente Gondwana. Debido al fenómeno de la tectónica de placas, lentamente comenzó la separación del Gondwana en los continentes que hoy conocemos. Para principios del Eoceno (58 Ma) algunas de sus partes ya se había separado pero Australia, la Antártida y América del Sur aún permanecían unidas. El clima que reinaba en la Antártida y áreas circundantes en ese entonces era mucho más cálido y húmedo de lo que es hoy día, y estaba libre de hielo y nieve. De esta manera constituía un corredor que unía Australia con América del Sur. En Patagonia existía en ese entonces una diversa vegetación

subtropical. En el Mioceno (23-9 Ma) comenzaron a separarse estas tres unidades y es posible que en esa deriva de continentes, la familia *Goodeniaceae* quedara restringida a Australia, y el antecesor de *Calyceraceae* y *Asteraceae* en América del Sur y quizás también en la Antártida. La separación de los continentes, junto con otros factores geológicos y climáticos, provocó el enfriamiento de la Antártida y una mayor sequedad en el clima patagónico que afectó profundamente a la vegetación. En este escenario se expandieron las plantas mejor adaptadas a estos climas, entre ellas las Compuestas. Dada la presencia ya comentada de polen fósil del tipo de los cardos en el Eoceno de África y dado que estos grupos son los que siguen en secuencia a los grupos basales en el árbol filogenético de las Compuestas, es muy probable que las Compuestas hayan migrado desde América del Sur hacia África. Se sabe que la familia tuvo en África, al igual que en América del Sur, una gran explosión que en términos evolutivos se llama radiación adaptativa. ¿Cómo migraron las Compuestas hacia el continente africano cuando ya existía una amplia separación, formada por

el Océano Atlántico, entre África y América del Sur? es la pregunta que al momento los especialistas en Compuestas no han podido responder. Existen varias hipótesis al respecto; algunas de ellas se han aplicado también a organismos animales: (1) un transporte mediante aves o el viento a través de islas que en ese momento existían en el Océano Atlántico entre los dos continentes. Ya sea por aves o por viento, las Compuestas tienen adaptaciones en sus frutos a ambos factores de dispersión; o (2) un transporte de flotación en pequeños islotes desprendidos de las costas sudamericanas que eran llevados por las corrientes oceánicas hacia África.

En resumen, de acuerdo a este escenario evolutivo, las Compuestas pueden haberse originado en el sur de América del Sur (no se descarta que la Antártida haya podido también formar parte del área ancestral) entre fines del Cretácico y el Eoceno. Desde esta área migraron hacia el continente africano atravesando el Océano Atlántico. En ambos continentes hubo radiaciones que condujeron a la increíble diversidad y a la distribución cosmopolita que tienen las Compuestas hoy.◆

Lecturas sugeridas

Para profundizar la lectura acerca del hallazgo del macrofósil, puede leerse los trabajos:

V. D. Barreda, L. Palazzesi, M. C. Tellería, L. Katinas, J. V. Crisci, K. Bremer, M. G. Passalia, R. Corsolini, R. Rodríguez Brizuela y F. Bechis. "Eocene Patagonia fossils of the daisy family". *Science* 329: 1621, 2010.

V. D. Barreda, L. Palazzesi, L. Katinas, J. V. Crisci, M. C. Tellería, K. Bremer, M. G. Passalia, F. Bechis y R. Corsolini. "An extinct Eocene taxon of the daisy family (Asteraceae): evolutionary, ecological, and biogeographical implications". *Annals of Botany*. En prensa.

Para interiorizarse sobre la tribu *Mutisieae* puede consultarse:

L. Katinas, G. Sancho, M. C. Tellería y J. V. Crisci. "Mutisieae sensu stricto (Mutisioideae sensu stricto)". En V. A. Funk, A. Susanna, T. F. Stuessy y R. Bayer (eds.), *Systematics, Evolution and Biogeography of the Compositae*, Viena, IAPT, 2009, pp. 229-248.

Liliana Katinas y Jorge V. Crisci.
División Plantas Vasculares, Museo de
La Plata, profesores de la UNLP.

